

Perancangan Modul Pengendali Torsi Motor pada Desain Kontrol *Pedal Assist* Sepeda Listrik

Lingga Suhadha¹, Nana Sutarna², B.S.R. Purwanti³

¹Magister Terapan Teknik Elektro, Politeknik Negeri Jakarta, Depok 16424

¹E-mail : lingga.suhadha.te19@mhs.wpnj.ac.id

^{2,3}Jurusan Teknik Elektro, Politeknik Negeri Jakarta, Depok 16424

²E-mail : nana.sutarna@elektro.pnj.ac.id

³E-mail : rahayu.purwanti@elektro.pnj.ac.id

ABSTRAK

Penelitian ini membahas tentang sistem kendali motor penggerak pada sepeda listrik, khususnya fungsi *pedal assist*. Tanpa pengendali, pesepeda berpotensi kehilangan keseimbangan akibat perubahan kecepatan yang signifikan. Perubahan kecepatan tersebut berpotensi membahayakan pesepeda, hilang keseimbangan, terkejut, hingga terjatuh. Oleh karena perubahan kecepatan sepeda listrik yang membahayakan pesepeda perlu dibuat model kontrol *pedal assist*. Untuk menunjukkan bahwa kontrol *pedal assist* dipengaruhi oleh torsi, maka didesain modul pengendali *pedal assist*. Metode penelitian dengan rancang bangun rangkaian kontrol sepeda listrik untuk menyelaraskan kekuatan kayuh (*pedalling*) dengan *assisted power* dari motor listrik. Modul diuji pada sudut kemiringan jalan yang berbeda, sehingga berpengaruh terhadap kecepatan sepeda. Dari data deteksi torsi kayuh memiliki keluaran 0 – 102N.m, deteksi sudut kemiringan -90° - +90°, deteksi kecepatan 0 – 67km/jam. Pengujian modul pengendali menunjukkan keluaran detektor dapat diterapkan pada desain kontrol *pedal assist*.

Kata Kunci

Sepeda Listrik, Pedal Assist System, Assisted Power

1. PENDAHULUAN

Sepeda listrik kini semakin digemari oleh kalangan tertentu misalnya karyawan yang ingin menghemat biaya transportasi. Walaupun beberapa orang masih memandang negatif, bersepeda listrik identik dengan melakukan kecurangan dalam berkompetisi karena menggunakan tenaga bantuan listrik [1]. Sementara itu, ada peningkatan kesadaran masyarakat tentang pentingnya menjaga masalah lingkungan. Khususnya kualitas udara yang memburuk diakibatkan penggunaan Bahan Bakar Minyak (BBM). Penurunan kualitas udara akibat penggunaan BBM menjadi daya tarik peneliti solusi alternatif [2], [3]. Khususnya untuk mobilitas jarak dekat dan menengah dalam bidang otomotif dan atau transportasi. Sepeda listrik merupakan kendaraan kayuh dengan bantuan tenaga motor listrik [4]. Tenaga bantu atau yang dikenal dengan *assisted-power* dari motor listrik meringankan kayuhan dibanding dengan sepeda tanpa listrik [5], [6]. Keunggulan sepeda listrik yaitu ringan berakselerasi, kecepatan rata – rata yang lebih tinggi, dan jarak mengayuh yang lebih panjang. Namun beresiko terhadap perubahan perilaku bersepeda, terutama kecepatan aman bersepeda [7].

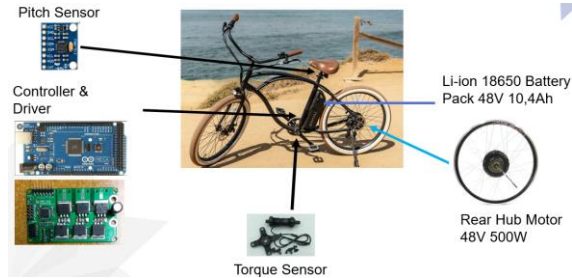
Peraturan Menteri Perhubungan RI Nomor PM 45 Tahun 2020, sepeda listrik dikategorikan sebagai kendaraan roda 2 tertentu yang dilengkapi peralatan mekanik yang berupa motor listrik. Salah satu pejelasan tentang batasan kecepatan sepeda listrik maksimal 25km/jam [8]. Batas kecepatan ini menjadi

bahan menarik untuk diteliti agar keamanan terjamin dengan pembatasan kecepatan. Kenyamanan dalam bersepeda [3] diperoleh dari performa *assisted-power* sepeda listrik. Penelitian lainnya menggunakan sensor *rotary encoder* [9] pada pedal kayuh. Kecepatan kayuh yang dideteksi sensor encoder dikonversi menjadi besarnya *pedalling* atau kekuatan kayuhan. Namun hasil konversi tidak akurat akibat nilai *pedalling torque* yang diestimasi dari asumsi kecepatan *pedalling*. Ketidakakuratan tersebut, peneliti [10] mengkombinasi *rotary encoder* dan *sensor fusion*. Luaran system tersebut menghasilkan *power-assist*. Luaran pengendalian *assisted-power* dengan logika fuzzy lebih stabil kecepatannya [11]. Logika Fuzzy diterapkan dalam pengendalian *power-assist* sepeda listrik dengan nilai keluaran sensor Torsi. Sepeda listrik dengan kecepatan tinggi beresiko timbul kecelakaan [12], yang mengakibatkan sepeda tidak terkendali. Pengaturan *assisted-power* akan menghasilkan kenaikan torsi sebesar 3 kali lipat dengan kenaikan kecepatan rata-rata sebesar 2 kali lipat [13]. Penerapan *pedal assist* [14] menghasilkan tenaga kayuh yang sangat minimal pada *pedalling frequency* 1.5 – 3.5Hz.

Mengacu ke permasalahan pengendalian *assisted-power* dan referensi hasil para peneliti, maka perlu dibuat system kendali *assisted-power* motor listrik yang sesuai. Penelitian ini adalah tahap awal untuk merancang bangun dan menguji sistem elektrik modul pengontrol yang dikerjakan secara parsial. Pengujian dilakukan dengan memverifikasi hasil perhitungan

dengan rumus dan menganalisis data kualitatif sesuai data indikator yang dihasilkan. Metode penelitian dengan memodifikasi *conversion kit* sepeda listrik yang terpasang pada bagian penggerak sepeda. Dengan adanya pengendalian pada motor akan membantu kayuhan sepeda. Dengan demikian bisa didapatkan kayuhan bersepeda yang nyaman dan aman.

2. PERANCANGAN SISTEM



Gambar 1. Desain Sistem Keseluruhan

Perancangan sepeda listrik dibuat dari sepeda kayu biasa yang ditambahkan dengan *Conversion Kit* sepeda listrik yang sudah dimodifikasi. Pada penelitian ini digunakan motor *Rear Hub* BLDC 500W 3 fasa sebagai penggerak. *Universal Driver* dengan daya maksimal 800W digunakan untuk pengaturan keluaran sinyal 3 fasa. Motor penggerak ini ditenagai oleh baterai *pack* lithium 48V dengan kapasitas 10,4 Ah. Dengan demikian sepeda dengan *assisted-power* menghasilkan *pedalling* (kekuatan kayuh) yang konstan pada media jalan yang berbeda.

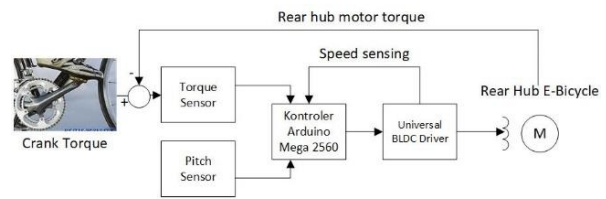
Untuk membuat mekanisme *pedal assist* dibutuhkan suatu *board* yang terdapat *Embedded Controller*. Pada penelitian ini digunakan *development board* Arduino Mega 2560. Berikut adalah spesifikasi dari Arduino Mega 2560 [15]. Spesifikasi teknis dari Arduino Mega 2560 dapat dilihat pada Tabel 1.

Tabel 1. Spesifikasi Arduino Mega 2560

<i>Clock Speed</i>	16Mhz
<i>Operating Voltage</i>	5V
<i>Input Voltage</i>	7V – 12V
<i>Digital I/O Pin</i>	54 pin (14 pin PWM)
<i>Analog Input Pin</i>	16 pin
Kapasitas Flash	256kB
Kapasitas SRAM	8kB
EEPROM (Serial)	4kB

Arduino Mega berfungsi sebagai pusat kontrol yang akan memproses mekanisme sistem kontrol sepeda listrik.

Gambar 2 memperlihatkan diagram blok keseluruhan sistem kontrol *pedal assist* sepeda listrik. Sinyal keluaran pengontrol akan langsung mendorong motor BLDC berputar melalui modul *driver*.



Gambar 2. Blok Diagram Keseluruhan Sistem

Tabel 2 menunjukkan material dan spesifikasi komponen yang digunakan pada penelitian ini. Sedangkan kendaraan sepeda bisa menggunakan segala jenis sepeda kayu biasa yang mempunyai ukuran rim paling kecil 26 inch, dan menggunakan BB yang berukuran 68 mm. Pada penelitian ini, sepeda kayu digunakan mempunyai ukuran rim 28 inch.

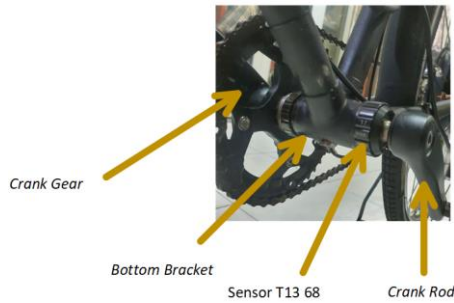
Modul *Universal BLDC Driver* digunakan untuk menerima masukan tegangan analog dari pengontrol. Pengontrol melakukan mekanisme sistem kontrol berdasarkan input sensor yang diterima

Tabel 2. Daftar Modul dan Spesifikasi

No	Nama Modul / Material	Type
1	<i>Conversion Kit</i> Sepeda Listrik	-Rear hub BLDC 500W 120° 3 Phase -Universal BLDC Controller 800W -Battery Li-ion Pack 48V 10.4 Ah -Brake Switch
2	<i>Main Controller</i>	Arduino Mega 2560
3	<i>Shield board</i>	Arduino Mega Screw Shield
4	Modul penampil	LCD 4x20 Char + I2C driver
5	Modul <i>Gyroscope</i>	MPU6050
6	Modul DAC	MCP4725
7	Sensor Torsi Kayuh	T13 68
8	Catu daya 12V	DC to DC Converter 60 to 12V
9	Catu daya 5V	DC to DC Converter 60 to 5V

2.1 Deteksi Torsi Kayuh

Deteksi torsi kayuh dilakukan dengan memasang sensor torsi pada *bottom bracket* sepeda. Pemilihan ukuran sensor didasarkan pada besar diameter *bottom bracket* (BB) sepeda yang ada. Sensor yang digunakan pada penelitian ini bertipe T13 68 dengan BB berdiameter 68mm. Penempatan sensor T13 68 ditunjukkan pada Gambar 3.

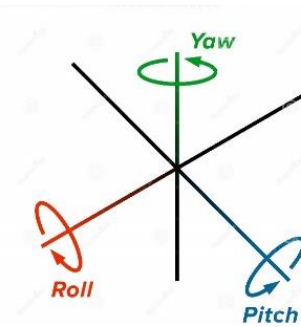


Gambar 3. Pemasangan Sensor T13 68 Pada BB Sepeda

Berdasarkan spesifikasi yang diperoleh dari pabrikan, sensor T13 68 mampu mendeteksi torsi hingga 102.9N.m. Tegangan keluaran untuk kondisi *standby* saat 0N.m sebesar 1.5V dan 14.7mV saat dikayuh.

2.2 Deteksi Sudut Kemiringan

Sensor deteksi sudut kemiringan jalan digunakan modul MPU6050 yang mempunyai deteksi 3 axis *gyroscope*. Pada MPU6050 terdapat tiga parameter yaitu *Roll*, *Yaw* dan *Pitch*. Ke-3 parameter tersebut dideskripsikan oleh Gambar 3.



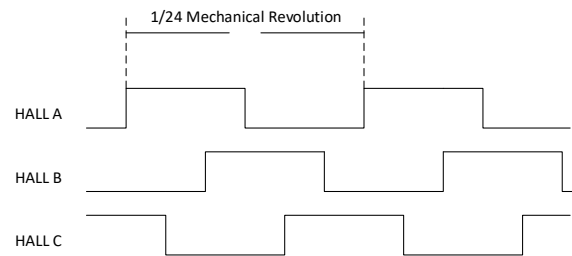
Gambar 4. Parameter sensor *gyroscope*

Gambar 4 menunjukkan posisi kemiringan dari *roll*, *yaw*, dan *pitch*. *Roll* sebagai parameter kemiringan pada sumbu horizontal sisi kiri, *pitch* sebagai parameter kemiringan pada sumbu horizontal sisi kanan, dan *pitch* adalah sebagai parameter sumbu tegak [16]. Pada penelitian ini parameter yang digunakan hanya *pitch* saja, sedangkan kedua parameter yang lainnya diabaikan.

2.3 Deteksi Kecepatan

Deteksi kecepatan pada roda sepeda menggunakan 3 sensor Hall yang sudah termasuk dan terpasang di dalam motor *Rear Hub* BLDC. Ke-3 sensor tersebut memiliki keluaran fasa satu sama lain sebesar 120 derajat seperti yang ditunjukkan pada Gambar 5. Keluaran sinyalnya kemudian dihubungkan ke pin INT Arduino. Hal ini dimaksudkan untuk melakukan perhitungan kecepatan secara *realtime*.

Dari hasil pengujian motor didapatkan bahwa untuk 1 putaran motor penuh dihasilkan 24 kali perioda per 1 fasa sinyal sensor.

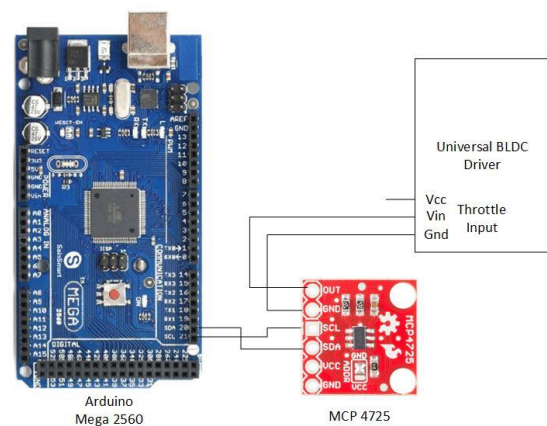


Gambar 5. Sinyal Hall Sensor BLDC Sebagai Deteksi Kecepatan

2.4 Driver BLDC

Sebuah modul DAC MCP4725 ditempatkan diantara pengontrol dan *Universal BLDC Driver*. *Universal BLDC Driver* menerima tegangan input 0V – 3.3V untuk mendorong putaran motor BLDC.

Modul DAC MCP 4725 menerima masukan data *integer* melalui komunikasi I2C. Data *integer* yang mewakili besaran analog merupakan data keluaran hasil perhitungan mekanisme kontrol yang dilakukan oleh Arduino. Hubungan antara pengontrol, DAC dan *Universal BLDC Driver* bisa dilihat pada Gambar 6.



Gambar 6. Koneksi Modul DAC MCP 4725

Modul MCP 4725 merupakan modul DAC 12 bit dengan tegangan referensi 2.7V – 5.5VDC [17]. Besaran tegangan analog yang dikeluarkan dari modul ini bisa dihitung dengan persamaan berikut.

$$V_{out} = \frac{\text{Nilai Integer}}{12\text{bit MaxValue (4095)}} \times V_{ref} \quad (1)$$

$$\text{Nilai Integer} = \frac{V_{out}}{V_{ref}} \times 12\text{bit Max value (4095)} \quad (2)$$

Dimana:

V_{out} = Tegangan keluaran.

Nilai Integer = nilai digital yang akan dikonversikan.

12 bit max Value = nilai max 12 bit (4095).

V_{ref} = tegangan referensi analog.

3. PENGUJIAN

3.1 Pengujian Deteksi Torsi Kayuh

Pendeteksian keluaran sensor didasarkan pada spesifikasi pabrikan. Setiap 1N.m torsi yang dideteksi akan menghasilkan keluaran 14.7 mV. Sementara tegangan *standby* sensor saat 0N.m adalah 1,5V ±0.5VDC.

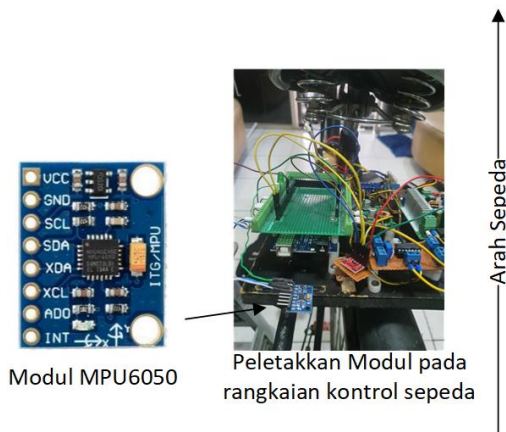
Keluaran *Analog* sensor kemudian dihubungkan ke pin *Analog Input* Arduino. Hasil nilai analog yang diperoleh dapat dihitung dengan Persamaan (3).

$$\text{Nilai Analog} = \frac{\text{tegangan input}(V)}{\text{tegangan max}(5V)} \times \text{Max Nilai analog}(1023) \quad (3)$$

Jika tegangan *standby* sensor adalah 1,5VDC, maka nilai analog dapat dikonversi sebesar 306,9. Pada percobaan ini, nilai tersebut terdeteksi sebesar 308 yang artinya mewakili nilai 0N.m. Dengan resolusi sebesar 1023, maka kenaikan per 1 N.m (14.7 mV) akan menghasilkan kenaikan angka pembacaan analog sebesar 3. Dengan kata lain berdasarkan Persamaan (3) kenaikan 1 angka *Integer* mendeteksi 0,33 N.m

3.2 Pengujian Deteksi Sudut Kemiringan

Sensor MPU6050 digunakan sebagai sensor pendeteksi sudut kemiringan. Modul sensor MPU6050 di dalamnya terdapat sensor *gyroscope* dan sensor *Accelerometer*. Kedua sensor berfungsi untuk mendeteksi pergerakan momentum sudut dan percepatan [18]. Namun pada penelitian ini, parameter *Accelerometer* dalam modul ini tidak dipakai.



Gambar 7. Arah Peletakkan Modul Sensor MPU6050

Penempatan modul sensor ditunjukkan pada Gambar 7. Perlu diperhatikan tentang posisi peletakkan modul sensor agar didapatkan pembacaan perubahan posisi yang signifikan terhadap sudut x jika sepeda dalam keadaan menanjak atau menurun.

Tabel 3 menunjukkan data hasil pembacaan sensor MPU6050 untuk menentukan sudut x,y,z.

Tabel 3. Perubahan nilai sudut x,y,z pada sepeda menanjak atau menurun.

No	Parameter Sudut dalam MPU6050			Keadaan sepeda
	X(°)	Y(°)	Z(°)	
1	89.51	-4.22	-28.10	Menanjak
2	71.19	-4.80	-29.54	
3	57.33	-5.09	-33.56	
4	0.20	0.25	-35.68	Datar
5	-17.88	2.01	-36.14	Menurun
6	-34.45	3.28	-34.54	
7	-48.00	5.25	-31.90	
8	-65.97	5.32	-29.91	
9	-89.98	6.62	-23.49	

Mengacu ke Tabel 3 bahwa parameter x dapat dijadikan sebagai acuan posisi sepeda terhadap sudut kemiringan jalan. Hal ini diperlukan sebagai deteksi apakah sepeda dalam keadaan menanjak atau menurun.

3.3 Pengujian Deteksi Kecepatan

Pada pengujian kecepatan, untuk satu putaran roda penuh, menghasilkan 24 kali periode untuk 1 fasa sinyal Hall sensor. Data ini dijadikan sebagai waktu sampling. Dengan demikian perhitungan kecepatan (m/s) mengacu ke persamaan (4).

$$v(m/s) = \frac{RIM_dia(m) \times \pi \times \frac{pulsecount}{24}}{ts} \quad (4)$$

Dimana:

V = kecepatan dalam m/s.

RIM_dia = diameter RIM dalam m.

pulsecount = jumlah peridoda pulsa dari sensor hall

ts = waktu sampel dalam detik

Hasil perhitungan dari persamaan (4) dapat digunakan untuk menghitung frekuensi pulsa. Perhitungannya dinyatakan dalam Persamaan (5) dan Persamaan (6).

$$v(m/s) = \frac{RIM_dia(m) \times \pi \times Freq_in}{24} \quad (5)$$

Nilai kecepatan dalam km/jam menjadi.

$$v(km/jam) = v(m/s) \times 3.6 \quad (6)$$

Hasil perhitungan frekuensi pulsa tersebut digunakan sebagai data input pada pin interrupt Arduino. Kemudian, hasil outputnya dikonversi ke dalam satuan km/jam oleh kontroler. Tabel 4 menunjukkan hasil pengujian deteksi kecepatan dengan memakai ukuran diameter Rim 28 inch atau 71 cm. Pada saat kecepatan sepeda < 30 km/jam, error yang terjadi sebesar < 5%.

Tabel 4. Hasil Pengujian Deteksi Kecepatan Sepeda

No	Frek. Input (Hz)	Pembacaan (km/h)	Perhitungan (km/h)	Error (%)
1	50	16	16.75	4.5
2	100	33	33.49	1.4
3	150	50	50.24	0.5
4	200	67	66.99	0.01

3.4 Pengujian Driver BLDC

Driver BLDC diuji dengan memberikan data *integer* dari kontroler ke modul DAC MCP4725. Dengan tegangan referensi sebesar 5.2V, dan berdasarkan Persamaan (2), diperoleh tegangan keluaran sebesar 3.3V. Nilai tegangan ini menunjukkan sebuah *integer* sebesar 2599.

Dengan demikian, keluaran tegangan sebesar 3,3V, menyebabkan motor berputar maksimal dan menghasilkan kecepatan sebesar 53 km/jam.

4. KESIMPULAN DAN SARAN

4.1 Kesimpulan

Dari data pengujian sensor disimpulkan bahwa fungsi *pedal assist* dapat diterapkan pada mekanisme kontrol sepeda listrik dan memberikan akurasi yang baik.

Parameter torsi kayuh, sudut kemiringan diperlukan untuk perhitungan besarnya *assisted power* yang dikeluarkan oleh motor BLDC. Sedangkan parameter kecepatan digunakan sebagai parameter umpan balik sehingga menciptakan akselerasi sepeda yang stabil dan tidak mengejutkan pesepeda. Hal ini disebabkan karena pendeteksian torsi kayuh melalui sensor T13 68 yang bisa mendeteksi perubahan nilai torsi terkecil hingga 0.33N.m dan sehingga tenaga keluaran bisa disesuaikan dengan pendeteksian ini.

Salah satu kelebihan dalam penelitian ini adalah menciptakan suatu pengendalian *pedal assist* sepeda listrik dengan akselerasi yang halus. Hal ini akibat dari penggunaan tegangan *drive* motor BLDC 0 – 3.3V oleh DAC yang memerlukan angka *integer* 0 – 2599. Sehingga kenaikan 1 angka *integer* akan menghasilkan keluaran tegangan sebesar 1.2mV.

4.2 Saran

Modul kontroler bisa menggunakan ukuran yang lebih kecil yang mempunyai kecepatan *clock* yang lebih tinggi sehingga mudah dalam segi peletakkan di sepeda dan sistem kendali menjadi lebih handal dan *realtime*.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] J. Lindsey, "Riding an E-Bike Is Not Cheating," 2019.
- [2] C. Abagnale, M. Cardone, P. Iodice, S. Strano, M. Terzo, and G. Vorraro, "Model-based control for an innovative power-assisted bicycle," in *Energy Procedia*, 2015, doi: 10.1016/j.egypro.2015.12.045.
- [3] C. Abagnale *et al.*, "Design and Development of an Innovative E-Bike," in *Energy Procedia*, 2016, doi: 10.1016/j.egypro.2016.11.098.
- [4] S. Matey, D. R. Prajapati, K. Shinde, A. Mhaske, and A. Prabhu, "Design and fabrication of electric bike," *Int. J. Mech. Eng. Technol.*, vol. 8, no. 3, pp. 245–253, 2017.
- [5] Z. Ling, C. R. Cherry, J. H. MacArthur, and J. X. Weinert, "Differences of cycling experiences and perceptions between e-bike and bicycle users in the United States?," *Sustain.*, vol. 9, no. 9, pp. 1–18, 2017, doi: 10.3390/su9091662.
- [6] S. Mohan, P. R. Jayasree, S. Ravi, R. Prasad, and V. Vijayakumar, "Economically viable conversion of a pedal powered bicycle into an electric bike," in *2013 International Conference on Electrical Machines and Systems, ICEMS 2013*, 2013, doi: 10.1109/icems.2013.6754565.
- [7] B. C. Langford, J. Chen, and C. R. Cherry, "Risky riding: Naturalistic methods comparing safety behavior from conventional bicycle riders and electric bike riders," *Accid. Anal. Prev.*, vol. 82, pp. 220–226, 2015, doi: 10.1016/j.aap.2015.05.016.
- [8] KEMENHUB, "Menteri perhubungan republik indonesia," *Peratur. Menteri Perhub. Republik Indones. Nomor Pm 45 Tahun 2020*, pp. 1–9, 2020.
- [9] C. Y. Liang, W. H. Lin, and B. Chang, "Applying fuzzy logic control to an electric bicycle," in *First International Conference on Innovative Computing, Information and Control 2006, ICICIC'06*, 2006, doi: 10.1109/ICICIC.2006.54.
- [10] C. F. Huang, B. H. Dai, and T. J. Yeh, "Observer-based sensor fusion for power-assist electric bicycles," in *Proceedings of the American Control Conference*, 2016, doi: 10.1109/ACC.2016.7526530.
- [11] J. S. Lee, J. W. Jiang, and Y. H. Sun, "Design and simulation of control systems for electric-assist bikes," in *Proceedings of the 2016 IEEE 11th Conference on Industrial Electronics and Applications, ICIEA 2016*, 2016, doi: 10.1109/ICIEA.2016.7603866.
- [12] K. Schleinitz, T. Petzoldt, L. Franke-Bartholdt, J. Krems, and T. Gehlert, "The German Naturalistic Cycling Study – Comparing cycling speed of riders of different e-bikes and conventional bicycles," *Saf. Sci.*, vol. 92, pp. 290–297, 2017, doi: 10.1016/j.ssci.2015.07.027.
- [13] J. Gromba, "Torque control of BLDC motor for electric bicycle," in *2018 International Symposium on Electrical Machines, SME 2018*, 2018, doi: 10.1109/ISEM.2018.8442987.
- [14] T. Li, Q. Yang, B. Ren, and X. Tu, "A Torque Sensorless Speed Control Method of Electric Assisted Bicycle," *Chinese Control Conf. CCC*, vol. 2018-Janua, no. October 2019, pp. 3705–3709, 2018, doi: 10.23919/ChiCC.2018.8484181.

- [15] S. J. Parmar, M. S. Zala, I. S. Thaker, and K. M. Solanki, "Design and Development of Stepper Motor Position Control using Arduino Mega 2560," *IJSTE-International J. Sci. Technol. Eng.* |, vol. 3, no. 09, pp. 77–82, 2017.
- [16] R. Aswinth, "DIY Arduino Inclinometer using MPU6050," *Circuit Dig.*, 2018.
- [17] MicroChip, "12-Bit Digital-to-Analog Converter with EEPROM Memory in SOT-23-6," *Microchip Technol. Inc.*, pp. 1–42, 2007.
- [18] B. Firman, "IMPLEMENTASI SENSOR IMU MPU6050 BERBASIS SERIAL I2C PADA SELF-BALANCING ROBOT Vol . 9 No . 1 Agustus 2016 ISSN : 1979-8415," *Juenal Teknol. Technosciantia*, vol. 9, no. 1, pp. 18–24, 2016.